

ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
У БІТУМО-ЩЕБЕНЕВОМУ АГРЕГАТІ ДЛЯ ЯМКОВОГО РЕМОНТУ ДОРІГ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ,
Україна

Вікович І.А., доктор технічних наук, Національний університет "Львівська політехніка", Львів,
Україна

Дубневич О.М., Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

Бутитер І.Б., Інститут прикладних проблем механіки і математики Академії НАН України
ім. Я.С. Підстригача, Львів, Україна

DESIGN AND STUDY OF DYNAMIC PROCESSES
IN BITUMEN-GRAVEL ANHEATE FOR PATCHING ROADS

Dmitrichenko N.F., Dr., National transport University, Kyiv, Ukraine

Vikovich I.A., Dr., Lviv Politechnik National University, Lviv, Ukraine

Dubnevich O.M., Lviv Politechnik National University, Lviv, Ukraine

Butyter I.B., Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of National
Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В БИТУМО-ЩЕБЕНЕВОМ АГРЕГАТЕ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ДОРОГ

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Викович И.А., доктор технических наук, Национальный университет "Львовская
политехника", Львов, Украина

Дубневич О.М., Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина

Бутигер И.Б., Институт прикладных проблем механики и математики Академии НАН
Украины им. С. Подстригача, Львов, Украина

Постановка проблеми. Ремонт доріг з твердим асфальтовим покриттям здійснюють за технологією, яка передбачає переважно одночасно укладання щебеню і гарячого бітуму на дорогах. Для укладання асфальту застосовують найрізноманітніші машини, зокрема бітумо-щебеновий агрегат.

Нами спроектовано та виготовлено експериментальну модель причіпного бітумо-щебенового агрегату, який призначений для ямкового ремонту доріг шляхом одночасної доставки до місця роботи до 4-х фракцій щебеня і розігрітого бітуму або бітумної емульсії. Такий бітумо-щебеновий агрегат створює можливість продувки стисненим повітрям поверхні ремонту дороги та подачі бітуму і щебеню безпосередньо до місця роботи. Цей бітумо-щебеновий агрегат може використовуватись при будівельних та ландшафтних роботах на аеродромах, при розшивці швів та тріщин тощо.

Цей агрегат розрахований для роботи при зовнішніх температурах від -5°C до 60°C . Агрегат транспортується на двовісному шасі з накатним гальмом і може буксируватись трактором чи автомобілем зі швидкістю, що не перевищує 25 км/год. і автомобілем-тягачем зі швидкістю до 60 км/год.

Причіпний бітумо-щебеновий агрегат сконструйований на базі чотириколісного причепа, який має незалежну одноважільну торсіонну підвіску і ємкість для розігріву бітуму, причому розігрів бітуму можна здійснювати також у транспортному положенні.

На рис. 1 показано загальний вигляд і конструкцію причіпного бітумо-щебенового агрегату для ямкового ремонту доріг.

Бітумо-щебеновий агрегат складається з шасі, рама якого 1 (рис. 1б) встановлена на двох осях з гальмівними барабанами і пневматичними колесами.

На рамі змонтовано на гумових амортизаторах сталю цистерну-термос 2 для бітуму з силовою установкою у задній частині і вузлом підігріву цистерни спереду.

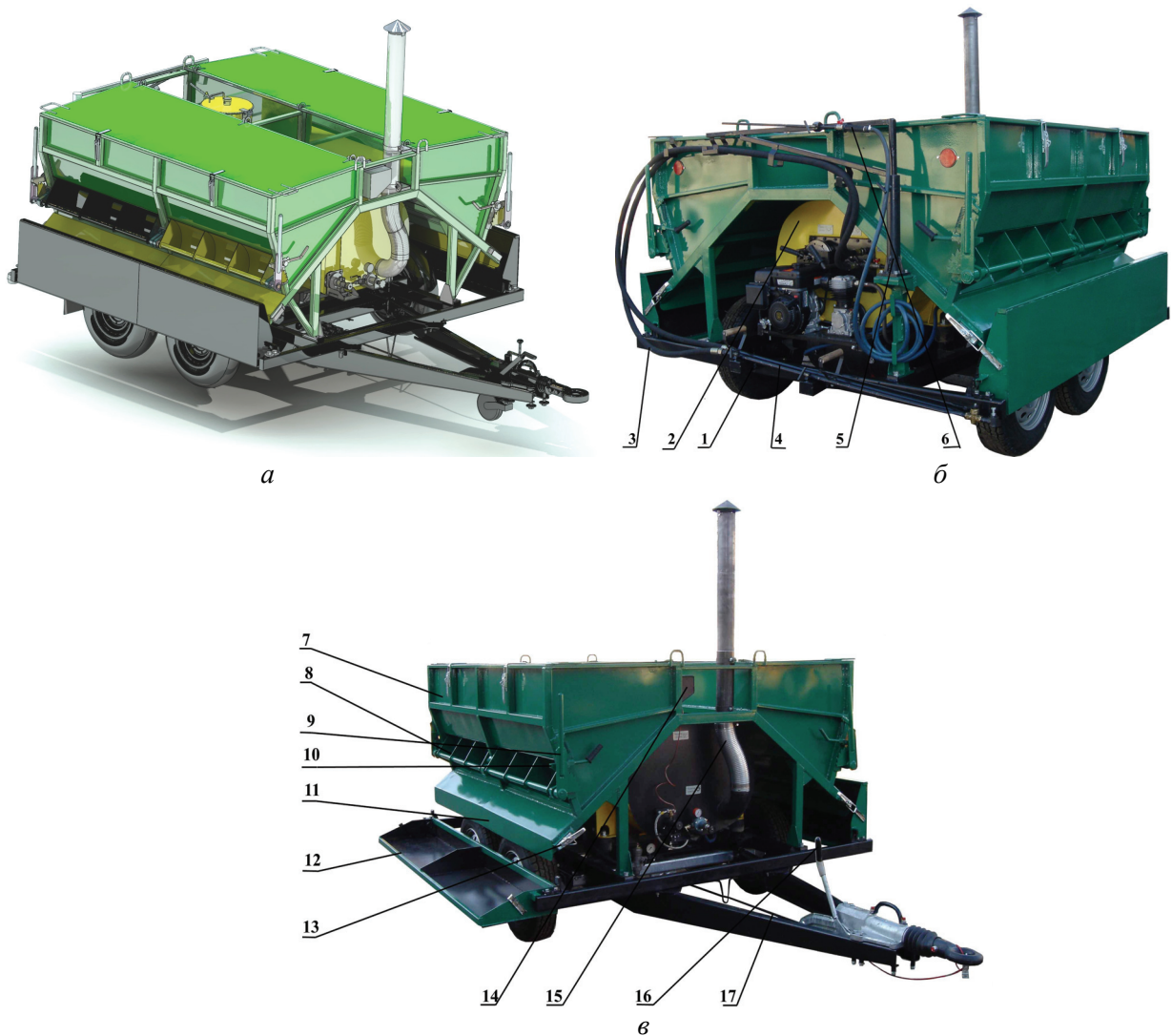


Рисунок 1 – Причіпний бітумо-щебеновий агрегат для ямкового ремонту доріг: а – загальний вигляд бітумо-щебенового агрегату; б – вигляд ззаду, в – вигляд спереду; 1 – рама, 2 – цистерна-термос, 3 – рукави подачі бітуму, 4 – пістолет бітумний, 5 – куліса поворотна, 6 – пістолет повітряний 7 – бункер щебеновий, 8 – заслінка рухома, 9 – ручка повороту заслінки, 10 – ручка фіксації заслінки, 11 – панель направляюча, 12 – підніжка, 13 – самофіксуючий замок, 14 – бак дизпалива, 15 – труба відводу продуктів згоряння, 16 –ручка стоянкового гальма, 17 – тяга гальмівна жорстка.

Для подачі бітуму з цистерни слугують термостійкі гнучкі рукави 3, що закінчуються пістолетом 4 з термоізольованими ручками, одна з яких слугує для керування краном подачі бітуму. Рукави підтримуються поворотною кулісою 5. Під кулісою утримується рукав стисненого повітря з пістолетом 6, який з'єднаний з ресиверами, що встановлені в нижній частині рами. Приводом є бензиновий двигун внутрішнього згоряння, на одній плиті з якими встановлено компресор.

Рукав стиснутого повітря з пістолетом – може виготовлятися під замовлення.

Бункер щебеновий 7, (рис. 1в) складається з 4-х попарно з'єднаних між собою секцій, закріплений на рамі і створює у верхній частині проїом для заливної горловини цистерни. Кожна секція у нижній частині виготовлена у вигляді нахиленої площини, яка завершується щілиною, що закривається заслінкою 8 з циліндричною поверхнею з допомогою ручки 9. Заслінка фіксується храповим механізмом, забезпечуючи потрібну величину щілини до повного відкриття, а ручкою 10 фіксується до повного закривання. Щебінь, що проходить через щілину по напрямній панелі 11 висипається на підніжку 12, яка у робочому стані відхиляється в горизонтальне положення і закріплюється самофіксуючими замками 13 з двох сторін. У передній частині проєму бункера встановлено бак дизпалива 14 для живлення вузла нагріву. З цієї ж сторони змонтовано трубу відводу продуктів згоряння 15, закріплену у верхній частині бункера і з'єднану з виходом нагрівного елемента цистерни гофрованим термостійким рукавом.

Для транспортування агрегата слугує зчїпна петля типу “кільце” з механізмом накатного гальма і ручкою стоянкового гальма 16 та запобїжним ланцюгом. При під’єднанні до тягача з висотою зачеплення 400 мм (трактор, “газель” і ін.) використовується жорстка гальмівна тяга 17, для вищих рівнів зачеплень причіпний пристрій встановлюється на наставки висотою 200 мм або 400 мм з використанням гнучкого троса для передачі гальмівного зусилля на колеса. Для захисту від колісного забруднення застосовано гумову обшивку.

Шасї бітумо-щебеневого агрегату у відчепленому від тягача положенні встановлюється на підпору з колісним вертлюгом, що закріплена на дишлі.

Під цистерною встановлено два ресивери стиснутого повітря, що надходить від компресора. З ресиверів стиснуте повітря поступає до пальника, пневмопістолета і на продувку бітумопроводів. Ресивери обладнано клапанами зливу конденсату. Поміж компресором та ресиверами у трубопроводі подачі стиснутого повітря вмонтовано регулятор тиску з манометром для контролю тиску в ресиверах. Регулятор налаштований на тиск 0,8 Мпа.

На рис. 2 показано загальний вигляд креслення бітумощебеневого агрегату, а рис. 3 показано загальний вигляд шасї бітумощебеневого агрегату з однаважільною торсіонною підвіскою.

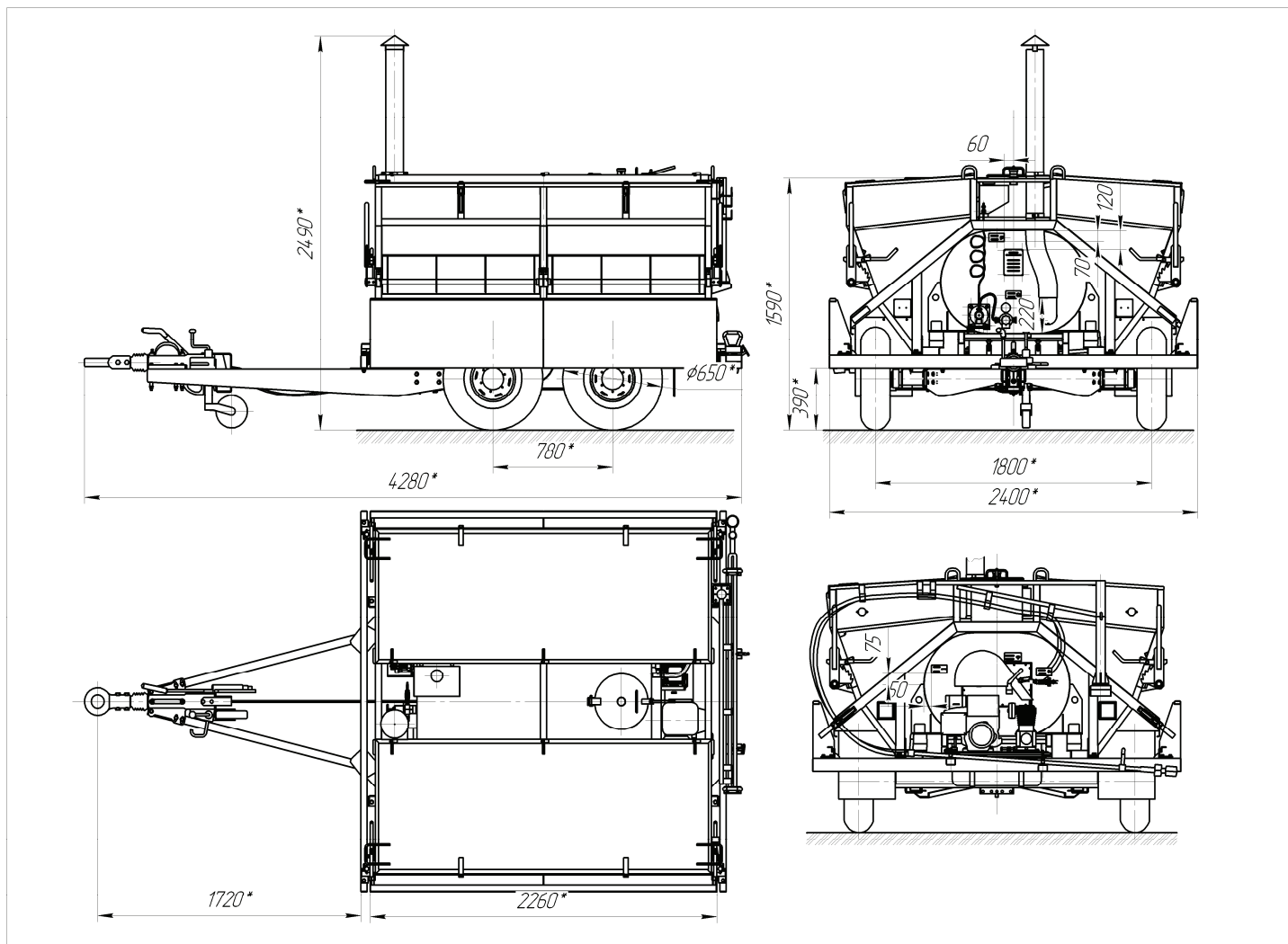


Рисунок 2 – Загальне креслення причіпного бітумо-щебеневого агрегату

Постановка проблеми. Для розробленої нами нової конструкції причіпного бітумо-щебеневого агрегату важливим є забезпечення стійкості його руху під час транспортування гарячого бітуму до місць призначення та визначення критичної транспортної швидкості.

Постановка проблеми полягає у розробленні адекватної математичної моделі для дослідження динамічних процесів у причіпному бітумо-щебеному агрегаті під час транспортування розігрітого рідкого бітуму.



Рисунок 3 – Загальний вигляд шасі бітумо-щебеневого агрегату.

Для аналізу динамічних процесів, які відбуваються у бітумо-щебеному агрегаті під час транспортування гарячого бітуму по дорогах з переважно наближеним періодичним профілем нерівностей, розглянемо, розроблену нами, розрахункову схему, яку показано на рис. 4.

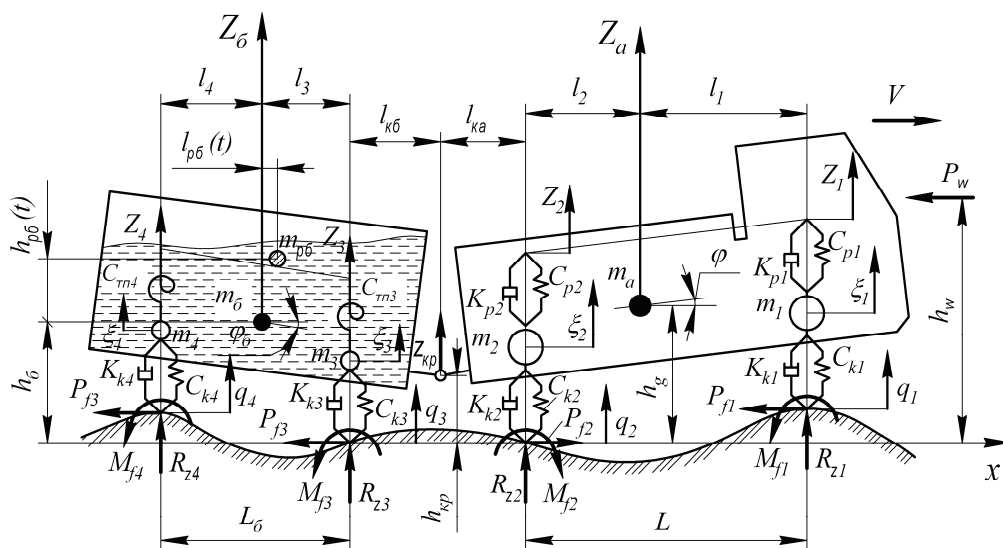


Рисунок 4 – Розрахункова схема коливань у поздовжньо-вертикальній площині причіпного бітумо-щебеневого агрегату

У цій розрахунковій схемі до підресорених мас віднесено: масу автомобіля – тягача m_a та бітумо-щебеневого агрегату m_6 без урахування маси розігрітого бітуму і масу розігрітого бітуму m_{p6} , а до невідресорених – відповідно маси передніх і задніх коліс автомобіля-тягача m_1 і m_2 та причіпного бітумо-щебеневого агрегату m_3 і m_4 . На рис. 4 відповідно показано вертикальні координати підресорених мас z_a, z_1, z_2 автомобіля-тягача, причіпного бітумо-щебеневого агрегату z_b, z_3, z_4 і розігрітого бітуму z_{p6} та їх невідресорених мас $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$, кутові коливання автомобіля-тягача φ_a і бітумо-щебеневого агрегату φ_b , а також вертикальні координати нерівностей дороги під їх колесами q_1, q_2, q_3, q_4 . На рис. 3 також показано відповідні коефіцієнти жорсткості c_{pi} і демпфірування κ_{pi} підвіски автомобіля-тягача і причіпного бітумо-щебеневого агрегату та невідресорених їх частин c_{ki} і κ_{ki} ($i=1,2,3,4$). Крім цього на рис. 3 відповідно показано реакції дороги під передніми і задніми колесами автомобіля-тягача і бітумо-щебеневого агрегату $R_{z1}, R_{z2}, R_{z3}, R_{z4}$, моменти і сили опору коченню $M_{f1}, M_{f2}, M_{f3}, M_{f4}$ і $P_{f1}, P_{f2}, P_{f3}, P_{f4}$ та вертикальна і горизонтальна складова реакції сил R_{zkr} і R_{xkr} у зчипці автомобіля-тягача і бітумо-щебеневого агрегату ($R_{zkr} = m_a \ddot{z}_{kp}$, $R_{xkr} \approx R_{zkr} \cdot \varphi$) та координати рухливості розігрітого бітуму $t_{p6}(t), h_{p6}(t)$.

За узагальнені координати вибрано z_a, z_b, φ_a і φ_b .

Координати у причіпному бітумо-щебеному агрегаті, відповідно до розрахункової схеми рис.3, пов'язані такими залежностями:

$$z_a = \frac{z_1 l_2 + z_2 l_1}{L}; z_{\bar{o}} = \frac{z_3 l_4 + z_4 l_3}{L_{\bar{o}}}; \varphi_a = \frac{z_1 - z_2}{L}; \varphi_{\bar{o}} = \frac{z_4 - z_3}{L_{\bar{o}}}; z_1 = z_a + l_1 \varphi; z_2 = z - l_2 \varphi; \\ z_3 = z_{\bar{o}} - l_3 \varphi_{\bar{o}}; z_4 = z_{\bar{o}} + l_4 \varphi_{\bar{o}}; L = l_1 + l_2; L_{\bar{o}} = l_3 + l_4; z_{kp} = z_a - (l_2 + l_{ka}). \quad (1)$$

Нелінійні диференційні рівняння, які описують коливальні процеси у причіпному бітумо-щобеновому агрегаті у поздовжньо-вертикальній площині з лінійною характеристикою торсіонної підвіски з урахуванням рухливості розігрітого рідкого бітуму запишемо у вигляді:

$$m_a \ddot{z}_a + 2k_{p1}(\dot{z}_1 - \dot{\xi}_1) + 2k_{p2}(\dot{z}_2 - \dot{\xi}_2) + 2c_{p1}(z_1 - \xi_1) + 2c_{p2}(z_2 - \xi_2) - R_{zkp} = 0; \\ I_a \ddot{\varphi}_a + 2k_{p1}(\dot{z}_1 - \dot{\xi}_1)l_1 - 2k_{p2}(\dot{z}_2 - \dot{\xi}_2)l_2 + 2c_{p1}(z_1 - \xi_1)l_1 - 2c_{p2}(z_2 - \xi_2)l_2 - R_{xkp}h_{gkp} - R_{zkp}(l_2 - l_{ka}) = 0; \\ m_1 \ddot{\xi}_1 - 2k_{p1}(\dot{z}_1 - \dot{\xi}_1) - 2c_{p1}(z_1 - \xi_1) + 2k_{k1}(\dot{\xi}_1 - \dot{q}_1) + 2c_{k1}(\xi_1 - q_1) = 0; \\ m_2 \ddot{\xi}_2 - 2k_{p2}(\dot{z}_2 - \dot{\xi}_2) - 2c_{p2}(z_2 - \xi_2) + 2k_{k2}(\dot{\xi}_2 - \dot{q}_2) + 2c_{k2}(\xi_2 - q_2) = 0; m_{\bar{o}} \ddot{z}_{\bar{o}} + 2F_{T3} + 2F_{T4} + N_{z\bar{o}} - R_{zkp} = 0; \\ (I_{\bar{o}} + I_{p\bar{o}}(t))\ddot{\varphi}_{\bar{o}} + F_{T3}l_3 - F_{T4}l_4 + \dot{I}_{p\bar{o}}(t)\dot{\varphi}_{\bar{o}} + N_{z'\bar{o}} \cdot x'_{p\bar{o}}(t) + N_{x'\bar{o}} \cdot z'_{p\bar{o}}(t) + R_{xkp}h_{gkp} - R_{zkp}(l_{k\bar{o}} + x'_{p\bar{o}}(t)) = 0; \\ m_3 \ddot{\xi}_3 - 2k_{k3}(\dot{\xi}_3 - \dot{q}_3) + 2c_{k3}(\xi_3 - q_3) = 0, \\ m_4 \ddot{\xi}_4 - 2k_{k4}(\dot{\xi}_4 - \dot{q}_4) + 2c_{k4}(\xi_4 - q_4) = 0, \quad (2)$$

де $F_T = \frac{GI_p \theta_T}{l_T r_T \cdot \sin \theta}$ – вертикальні сили, які діють на колеса бітумо-щобенового агрегату,

зумовлені торсіонною підвіскою; момент інерції розігрітого рідкого бітуму визначаємо аналогічно як у [2]:

$$J_{p\bar{o}}(t) = \frac{1}{6} m_{p\bar{o}} (3a^2 - 8aa_1 + 6a_1^2 + 4h^2) - \frac{1}{6} m_{p\bar{o}} \frac{h_1(t)}{h} (a^2 + 4h^2 - 2aa_1) + \frac{1}{3} m_{p\bar{o}} h_1^2(t); \\ J_{p\bar{o}}(t) = \frac{m_p a (2a_1 - a)}{6h} \dot{h}_1(t);$$

$x'_{p\bar{o}}(t)$ і $z'_{p\bar{o}}(t)$ – координати центра мас розігрітого рідкого бітуму (тіло-в'язка рідина у “затверділому стані”), параметри: $a, a_1, h, h_1(t)$ наведено у [2].

Жорсткість торсіонної підвіски $c_{ТП}$ можна визначити на основі рівності роботи деформації підвіски $A_{ТП}$ і потенціальної енергії її деформації $\Pi_{ТП}$.

Робота деформації торсіонної підвіски

$$A = \int_0^{z_{ТП \max}} c_{ТП} z_{ТП} dz_{ТП} = \frac{c}{2} z_{ТП \max}^2. \quad (3)$$

Потенціальна енергія торсіонної підвіски $\Pi_{ТП}$, яка накопичується стержнем торсіону під час деформації кручення дорівнює роботі крутного моменту валу торсіона M_T на кути закручування $d\theta_T$ (рис. 2):

$$\Pi_{ТП} = A_{ТП} = \int_0^{l_T} \frac{M_T^2}{2GI_T} dx = \frac{M_T^2 l_T}{2GI_T}, \quad (4)$$

де G – модуль пружності другого роду (модуль зсуву); I_T – момент інерції поперечного перерізу вала торсіону при крученні.

Для прямокутного перерізу вала торсіона (рис. 5)

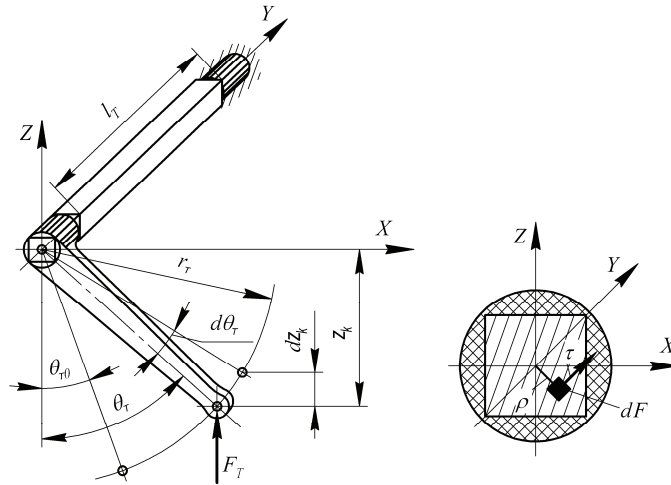


Рисунок 5 – Розрахункова схема одноважільної торсійної підвіски

$$I_T = \frac{hb^3}{3}, \text{ см}^4; W_T = \frac{hb^2}{3}, \text{ см}^3 \quad (5)$$

де h і b – відповідно більша і менша сторони прямокутного перерізу вала торсіона.

Для технічних розрахунків валів на кручення використовують умови міцності за дотичними напруженнями τ і жорсткості прямокутного перерізу для повного кута закручування θ_T відповідно у вигляді:

$$\tau_{max} = \frac{M_T}{W_T} \leq [\tau]; \quad (6)$$

$$\theta = \frac{M_T}{GI_T} \leq [\theta], \quad (7)$$

де формули (3) представляють у вигляді:

$$W_T = \alpha hb^2; I_T = \beta hb^3.$$

Коефіцієнти α і β залежать від співвідношень сторін прямокутного перерізу [7]. Так для квадратного перерізу (h/b) $\alpha=0,208$; $\beta=0,141$ [6].

Визначивши з (6) значення M_T і представивши у вигляді $M_T = \tau \alpha hb^2$ та $I_T = \beta hb^3$ та підставивши їх у (4) відповідно одержимо:

$$\Pi_{III} = \frac{\tau^2 \alpha^2 h b l_T}{2G\beta}; \quad (8)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (8) з (3) визначимо жорсткість торсійної підвіски з торсіоном прямокутного перерізу за умовою її міцності:

$$C_{III} = \frac{\tau^2 \alpha^2 h b l_T}{Z_{III}^2 G \beta}; \quad (9)$$

У системі нелінійних диференціальних рівнянь (2) необхідно відповідно замінити c_{p3} і c_{p4} на c_{III3} і c_{III4} та покласти $k_{p3} = 0$ і $k_{p4} = 0$. У системі рівнянь (2) враховано вплив гідродинамічних сил $N_{z'\delta}$ і $N_{y'\delta}$ на коливальний процес бітумо-щебеневого агрегату під час його нерівномірного руху по нерівній дорозі, зумовлений рухливістю рідкого розігрітого бітуму. Ці гідродинамічні сили визначаємо за спрощеною теорією коливань рідини у частково заповненій рухомій ємкості [2, 3]

$$N_{x'} = m_{\rho\delta} \cdot \left\{ (g + \ddot{z}_\delta) \sin \varphi_\delta + \frac{1}{6h_0} \left[h_{0a} \dot{\varphi}_\delta^2 - h_{02} \ddot{\varphi}_\delta + \frac{a^2}{4h_0} K_{\varphi_0} \text{tg} \varphi_\delta \left(2h_{01} \dot{h}_1 \dot{\varphi}_\delta - \frac{a}{2} \ddot{h}_1 \right) \right] \right\} - ma(t) \cos \varphi_\delta + \mu \frac{a}{6h_0} \dot{h}_1; \quad (10)$$

$$N_{z'} = m_{\rho\delta} \cdot \left\{ (g + \ddot{z}_\delta) \cos \varphi_\delta + \frac{1}{6h_0} \left[h_{0a} \dot{\varphi}_\delta^2 + h_{02} \ddot{\varphi}_\delta + \frac{a^2}{4h_0} K_{\varphi_\delta} \text{tg} \varphi_\delta \left(\dot{h}_1^2 - \dot{h}_{01} \dot{h}_1 - a \dot{h}_1 \dot{\varphi}_\delta \right) \right] \right\} + ma(t) \sin \varphi_\delta + \mu \frac{h_{01}}{3h_0} \dot{h}_1, \quad (11)$$

$$\text{де } h_{01} = h_0 - h_1(t); \quad h_{02} = h_1^2(t) - 2h_0 h_1(t) + 4h_0^2; \quad h_{0a} = \frac{4ah_0 - ah_1(t) - 6h_0 a_1}{6h_0}$$

Гідродинамічні сили $N_{z\bar{\sigma}}$ і $N_{y\bar{\sigma}}$, які відповідно перпендикулярні до бокових стінок і дна прямокутного резервуара з рідким розігрітим бітумом бітумо-щебеневого агрегату нелінійно залежать від його кутових коливань.

Збурення від нерівностей дороги під час руху бітумо-щебеневого агрегату подамо у вигляді гармонічних функцій у вигляді

$$q_k(t) = h_0(1 - \cos \omega(t - t_k)), \quad (12)$$

де $\omega = \frac{2\pi V}{S}$ – частота збурюючої сили (чергування нерівностей), V – швидкість руху причіпного бітумо-щебеневого причіпного агрегату S і h_0 – довжина хвилі і половина висоти нерівності дороги, t_k – час проїзду k -тим колесом нерівності дороги.

Систему нелінійних диференціальних рівнянь (2) з урахуванням (10) і (11) запишемо у вигляді: $m_a \ddot{z}_a + 2k_{p1}(\dot{z}_a + l_1 \dot{\varphi} - \dot{\xi}_1) + 2k_{p2}(\dot{z}_a - l_2 \dot{\varphi} - \dot{\xi}_2) + 2c_{p1}(z_a + l_1 \varphi - \xi_1) + 2c_{p2}(z_a + l_2 \varphi - \xi_2) - m_a(\ddot{z}_a - (l_2 + l_{ka})\ddot{\varphi}) = 0$;

$$\begin{aligned} & I_a \ddot{\varphi}_a + 2k_{p1}(\dot{z}_a + l_1 \dot{\varphi})l_1 - 2k_{p2}(\dot{z}_a - l_2 \dot{\varphi} - \dot{\xi}_2)l_2 + 2c_{p1}(z_a + l_1 \varphi - \xi_1)l_1 - 2c_{p2}(z_a + l_2 \varphi - \xi_2)l_2 - \\ & - m_a(\ddot{z}_a - (l_2 + l_{ka})\ddot{\varphi})\varphi h_{gkp} - m_a(\ddot{z}_a - (l_2 + l_{ka})\ddot{\varphi}) \cdot (l_2 + l_{ka}) = 0; \\ & m_1 \ddot{\xi}_1 - 2k_{p1}(\dot{z}_a + l_1 \dot{\varphi} - \dot{\xi}_1) - 2c_{p1}(z_a + l_1 \varphi - \xi_1) + 2k_{k1} + 2c_{k1}\xi = -h_0(\omega \sin \omega(t - t_1) + (1 - \cos \omega(t - t_1))); \\ & m_2 \ddot{\xi}_2 - 2k_{p2}(\dot{z}_a - l_2 \dot{\varphi} - \dot{\xi}_2) - 2c_{p2}(z_a - l_2 \varphi - \xi_2) + 2k_{k2}\xi_2 + 2c_{k2}\xi = -h_0(\omega \sin \omega(t - t_2) + (1 - \cos \omega(t - t_2))); \\ & m_{\bar{\sigma}} \ddot{z}_{\bar{\sigma}} - 2k_{p3}(\dot{z}_{\bar{\sigma}} + l_3 \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \dot{\xi}_3) + 2c_{p3}(z_{\bar{\sigma}} + l_3 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_3) + 2k_{p4}(\dot{z}_{\bar{\sigma}} + l_4 \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \dot{\xi}_4) + \\ & + 2c_{p4}(z_{\bar{\sigma}} + l_4 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_4) + N_{z\bar{\sigma}} - m_a(\ddot{z} - (l_2 + l_{ka})\ddot{\varphi}) = 0; \\ & (I_{\bar{\sigma}} + I_{\bar{\sigma}}(t))\ddot{\varphi} + \dot{I}_{p\bar{\sigma}}(t)\dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} + 2k_{p3}(\dot{z}_{\bar{\sigma}} + l_3 \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \dot{\xi}_3)l_3 - 2k_{p4}(z_{\bar{\sigma}} + l_4 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_4)l_4 + 2c_{p3}(z_{\bar{\sigma}} + l_3 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_3)l_3 - \\ & - 2c_{p4}(z_{\bar{\sigma}} + l_4 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_4)l_4 - N_{z\bar{\sigma}} \cdot l_{p\bar{\sigma}}(t) + N_{y\bar{\sigma}} \cdot h_{p\bar{\sigma}}(t) + R_{xkphgkp} - R_{zkp}(l_{k\bar{\sigma}} + l_3) = 0; \\ & m_3 \ddot{\xi}_3 - 2k_{p3}(\dot{z}_{\bar{\sigma}} + l_3 \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \dot{\xi}_3) - 2c_{p3}(z_{\bar{\sigma}} + l_3 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_3) + 2k_{k3}\xi_3 + 2c_{k3}\xi_3 = -h_0(\omega \sin \omega(t - t_3) + (1 - \cos \omega(t - t_3))); \\ & m_4 \ddot{\xi}_4 - 2k_{p4}(\dot{z}_{\bar{\sigma}} + l_4 \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \dot{\xi}_4) - 2c_{p4}(z_{\bar{\sigma}} + l_4 \varphi_{\bar{\sigma}} - \xi_4) + 2k_{k4}\xi_4 + 2c_{k4}\xi_4 = -h_0(\omega \sin \omega(t - t_4) + (1 - \cos \omega(t - t_4))). \end{aligned} \quad (13)$$

Для замикання і визначення розв'язку системи нелінійних диференціальних рівнянь (13) з урахуванням згідно теорії [2] вона повинна бути доповнена нелінійним диференціальним рівнянням, що пов'язує параметр $h_1(t)$ з кутом повороту ємкості розігрітого рідкого бітуму $\varphi_{p\bar{\sigma}}(t)$ у вигляді

$$\begin{aligned} & \frac{a^2}{12h_0^2} K_{\varphi\bar{\sigma}} t g \varphi_{\bar{\sigma}} \left(h_{01}^2 + \frac{a^2}{4} \right) \ddot{h}_1 - \frac{a^2}{12h_0^2} h_{01} K_{\varphi\bar{\sigma}} t g \varphi_{\bar{\sigma}} h_1^2 - \frac{\mu}{3h_0 m_{p\bar{\sigma}}} \times \left(2h_{01}^2 + \frac{a^2}{2} \right) h_1 + \frac{1}{6h_0} \cdot (ah_{02} - 2h_{01}h_{0a}) \ddot{\varphi}_{\bar{\sigma}} - \\ & - \frac{1}{6h_0} \times (ah_{0a} + 2h_{01}h_{02}) \dot{\varphi}_{\bar{\sigma}}^2 + (2h_{01} \cos \varphi_{\bar{\sigma}} - a \sin \varphi_{\bar{\sigma}}) \cdot (g + \ddot{z}_{\bar{\sigma}}) + \frac{m}{m_{p\bar{\sigma}}} (2h_{01} \sin \varphi_{\bar{\sigma}} + a \cos \varphi_{\bar{\sigma}}) a(t) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Очевидно, що таку складну систему нелінійних диференціальних рівнянь (13)-(14) можна розв'язати тільки числовим методом з використанням стандартних комп'ютерних підпрограм [5].

Отже, необхідно у подальшому відповідною заміною незалежних змінних звести систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку (13)-(14) до нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку і записати їх у зручній для числового розв'язання формі з використанням, добре апробованої для такого класу задач, програми DGIRE і побудувати амплітудно-частотні характеристики системи та відповідні закономірності переміщення підресорених частин бітумо-щебеневого агрегату у часі з метою підвищення ефективності транспортування розігрітого рідкого бітуму.

За допомогою програми DGIRE побудовано графічні залежності кутових переміщень корпусу бітумо-щебеневого агрегату в реальному часі (рис. 6).

Постановка проблеми. Для розробленої нами нової конструкції причіпного бітумо-щебеневого агрегату важливим є забезпечення стійкості його руху під час транспортування гарячого бітуму до місць призначення та визначення критичної транспортної швидкості.

Постановка проблеми полягає у розробленні адекватної математичної моделі для дослідження динамічних процесів у причіпному бітумо-щебеневому агрегаті під час транспортування розігрітого рідкого бітуму.

Постановка проблеми. Для розробленої нами нової конструкції причіпного бітумо-щебеневого агрегату важливим є забезпечення стійкості його руху під час транспортування гарячого бітуму до місць призначення та визначення критичної транспортної швидкості.

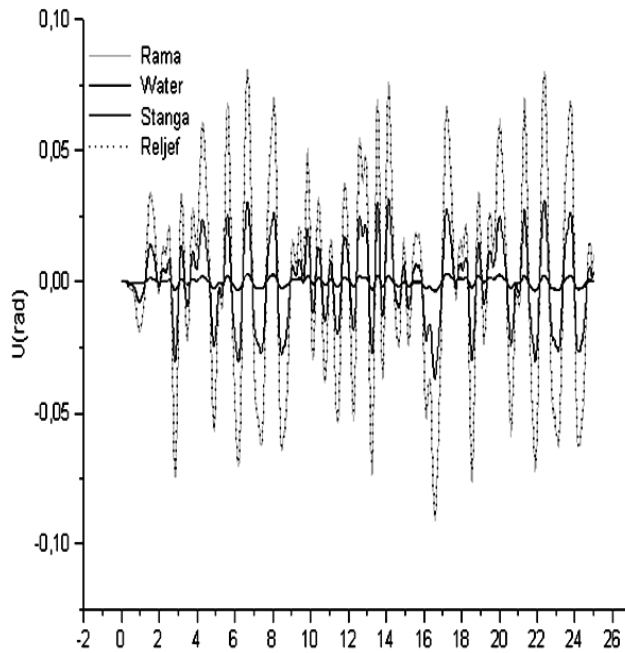


Рисунок 6 – Кутові переміщення бітумо-щебеневого агрегата у часі під час транспортування розігрітого рідкого бітуму

Постановка проблеми полягає у розробленні адекватної математичної моделі для дослідження динамічних процесів у причіпному бітумо-щебеновому агрегаті під час транспортування розігрітого рідкого бітуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вікович І.А., Дубневич О.М. Модель і метод розрахунку динамічних процесів у причіпному бітумо-щебеновому агрегаті з незалежною торсіонною підвіскою з урахуванням рухливості розігрітого бітуму//Укр. міжвід. науково-техн. збірник. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні.–Вип. 44, 2010.–С. 46-52
2. Дмитриченко М.Ф., Вікович І.А. Динаміка мобільних машин з начіпними функціональними елементами: Монографія.–Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2008.–496 с.
3. Дмитриченко М.Ф., Вікович І.А., Дубневич О.М., Бутитер І.Б. Розроблення моделі і методу розрахунку динамічних процесів у бітумо-щебеновому агрегаті//Вісник НТУ.–К.: НТУ–2012.–Вип. 26.–С. 34-41.
4. Лобанов Н.В. Моделирование торсионной подвески гусеничных транспортных средств//Вестник РГРТУ.–Вып.23.–Рязань, 2008.–С. 45-47.
5. Панков Ю.П. Применение ЭВМ для определения оптимальных конструктивных параметров торсионно-пружинной подвески и исследования колебаний прицепа//Автомобильная промышленность.–№1, 1995.–С. 16-19.
6. Пархиловский И.Г. О жесткости независимой рычажной подвески.–Кн.: Подвеска автомобиля. АН СССР, 1951.– С. 122-129.
7. Успенський І.Н., Мельников А.А. Проектирование подвески автомобиля.- М.: Машиностроение, 1976.- 168с.с ил.

REFERENCES

1. Vikovych I.A., Dubnevych A.M. Model and calculation method of dynamic processes in bitumen – macadam trailed unit with an independent torsion suspension based mobility heated bitumen // Ukr. mizhvid. scientific and technical. collection. Automation of production processes in engineering and prykladobuduvanni., Vol. 44 2010. – S. 46-52. (Ukr)
2. Dmytrychenko M.F., Vikovych I.A. Dynamics of mobile machines with hinged functional elements: Monohrafiya. – Lviv: Publishing House "Lviv Polytechnic", 2008. – 496 p. (Ukr)

3. Dmytrychenko M.F., Vikovych I.A., Dubnevych O.M., Butyter I.B. The development of the model and calculation method of dynamic processes in bitumen – aggregate crushed stone // Bulletin NTU.-K.: NTU – 2012. – Vol. 26. – S. 34-41. (Ukr)
4. N. Lobanov. Modeling torsyonnoy Pendants husenychnyh transportnyh funds // Journal RHRTU. – V.23. – Ryazan, 2008. – S. 45-47. (Rus)
5. Pankow J.P. Application of computers for definitions optymalnyh konstruktivnyh parameters torsyonno – pruzhynnoy Pendants and Studies oscillations Trailer // Automobile industry. – № 1 1995. – S. 16-19. (Rus)
6. Parhylovskyy I.G. Oh zhestkosty Independent rykhazhnoy podvesky. – Book.: Pendants car. Academy of Sciences of the USSR, 1951. – P. 122-129. (Rus)
7. Assumption I.N., Melnikov A.A. Designing Pendants car. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 168 s. (Rus)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Проектування і дослідження динамічних процесів у бітумо-щебеновому агрегаті для ямкового ремонту доріг / М.Ф. Дмитриченко, І.А. Вікович, О.М. Дубневич, І.Б. Бутитер // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2013. – Вип. 28.

У статті представлено нову конструкцію причіпного бітумо-щебенового агрегату для ямкового ремонту доріг і розроблено математичну модель коливань цього агрегату з урахуванням впливу рухливості розігрітого рідкого бітуму у його, частково заповненій горизонтальній циліндричній ємкості.

Об'єкт дослідження – причіпний бітумо-щебеновий агрегат для ямкового ремонту доріг.

Метою роботи є розроблені конструкції і дослідження динамічних процесів у бітумо-щебеновому агрегаті для ямкового ремонту доріг під час транспортування розігрітого рідкого бітуму для зниження інтенсивності коливань агрегату загалом.

Метод дослідження – для розроблення моделі і методу розрахунку й аналізу динамічних процесів у бітумо-щебеновому агрегаті застосовано теорію коливань дискретних механічних систем, динаміки машин, теорію руху колісних транспортних засобів, елементи теорії нелінійних коливань в'язкої рідини в рухомих ємкостях, частково заповнених рідиною.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІТУМО-ЩЕБЕНОВИЙ АГРЕГАТ, ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ, КОЛИВАННЯ, НЕЛІНІЙНІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ

ABSTRACT

Dmitrichenko N.F., Vikovich I.A., Dubnevich O.M., Butyter I.B. Design and study of dynamic processes in bitumen-gravel aggregate for patching roads Visnyk National Transport University. – Kyiv. National Transport University. 2013. – Vol. 28.

This paper presents a new design of trailer bitumen-gravel aggregate, crushed stone aggregate for road repairs and yamkovoy developed a mathematical model kolibany this unit with the influence of the mobility of the heated liquid bitumen in its partially filled cylindrical tank.

Object of research – Trailed bitumen – crushed stone aggregate for road repairs Yamkovoy.

The aim of the design is, the development and study of dynamic processes in bitumen, crushed stone aggregate for road repairs Yamkovoy Transport heated liquid bitumen to reduce the intensity kolibany unit as a whole.

Method of research – to develop the model and calculation method and the analysis of dynamic processes in bitumen, crushed stone aggregate kolibany applied theory of discrete mechanical systems, machine dynamics, the theory of motion of wheeled vehicles, Components of the theory of nonlinear oscillations of a viscous liquid in moving containers partially filled with water.

KEYWORDS: bitumen-gravel aggregate, dynamic process, oscillations of nonlinear differential equations.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Проектирование и исследование динамических процессов в битумо-щебеновом агрегате для ямочного ремонта дорог / Н.Ф. Дмитриченко, И.А. Викович, А.М. Дубневич, И.Б. Бутитер // Вестник Национального транспортного университета. – К. : НТУ, 2013. – Вып. 28.

В статье представлено новую конструкцию прицепного битумо-щебенового агрегата для ямкового ремонта дорог и разработано математическую модель колебаний этого агрегата с учетом влияния подвижности разогретого жидкого битума в его, частично заполненной горизонтальной цилиндрической емкости.

Объект исследования – прицепной битумо-щебневый агрегат для ямкового ремонта дорог.

Целью работы есть разработка конструкции и исследование динамических процессов в битумо-щебневом агрегате для ямкового ремонта дорог при транспортировании разогретого жидкого битума для снижения интенсивности колебаний агрегата в целом.

Метод исследования – для разработки модели и метода расчета и анализа динамических процессов в битумо-щебневом агрегате применено теорию колебаний дискретных механических систем, динамики машин, теорию движения колесных транспортных средств, элементы теории нелинейных колебаний вязкой жидкости в подвижных емкостях, частично заполненных жидкостью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БИТУМО-ЩЕБНЕВИЙ АГРЕГАТ, ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, КОЛЕБАНИЯ, НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

АВТОРИ:

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, ректор Національного транспортного університету, тел.: 024408203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1.

Вікович І.А., доктор технічних наук, Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри транспортних технологій, e-mail: wikowigor@gmail.com, тел.: 0974428686, Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12.

Дубневич О.М., Національний університет "Львівська політехніка", аспірант кафедри транспортних технологій, тел.: 06385535077, Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12.

Бутитер І.Б., провідний інженер, Інститут прикладних проблем механіки і математики Академії НАН України ім. Я. С. Підстригача, тел.: 0674913941, Україна, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-б.

AUTHORS:

Dmitrichenko N.F., Dr., National transport University, Rector of NTU, tel.: 024408203, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Suvorov 1.

Vikovich I.A., Dr., Lviv Politechnik National University, Professor of Department of Transport Technology, e-mail: wikowigor@gmail.com, tel.: 0974428686, Ukraine, 79013 Lviv, vul. Bandera, 12.

Dubnevich O.M., Lviv Politechnik National University, graduate student Department of Transport Technology, tel.: 06385535077, Ukraine, 79013 Lviv, vul. Bandera, 12.

Butyter I.B., Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics of National Academy of Sciences of Ukraine, tel.: 0674913941, Ukraine, 79060 Lviv, vul. Science, 3-b.

АВТОРЫ:

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, ректор Национального транспортного университета, тел.: 024408203, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1.

Викович И.А., доктор технических наук, Национальный университет "Львовская политехника", профессор кафедры транспортных технологий, e-mail: wikowigor@gmail.com, тел.: 0974428686, Украина, 79013, г. Львов, ул. С. Бандеры, 12.

Дубневич О.М., Национальный университет "Львовская политехника", аспирант кафедры транспортных технологий, тел.: 06385535077, Украина, 79013, г. Львов, ул. С. Бандеры, 12.

Бутытер И.Б., ведущий инженер, Институт прикладных проблем механики и математики Академии НАН Украины им. С. Подстригача, тел.: 0674913941, Украина, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3-б.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гудз Г. С., доктор технічних наук, професор, Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки, Львів, Україна.

Николишин М. М., доктор фізико-математичних наук, професор, Інститут прикладних проблем механіки і математики Академії НАН України ім. Я. С. Підстригача, зав. відділом, Львів, Україна.

REVIEWER:

Gudz G., Ph.D., Professor, National University "Lviv Polytechnic", professor of maintenance and repair of motor vehicles, Lviv, Ukraine.

Nykolyshyn MM, doctor of physical and mathematical sciences, professor, Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics, Academy of NAS of Ukraine. Pidstryhach Head. Department, Lviv, Ukraine.